



Aihion dimension mittalaitteen käyttöönotto

Mikko Koivumäki

Tekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Konetekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2013

ALKUSANAT

Haluan kiittää Outokumpu Tornio Worksia, sekä DI Eveliina Karjalaista sekä DI Marko Petäjäjärveä mahdollisuudesta tehdä tämä työ. Kiitokset kuuluvat myös Insinööri Jari Vanhapihalle sekä perheelleni itseni motivoinnista.

TIIVISTELMÄ

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU, Tekniikka

Koulutusohjelma:	Konetekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyöntekijä:	Mikko Koivumäki
Opinnäytetyön nimi:	Aihion dimension mittalaitteen käyttöönotto
Sivuja (joista liitesivuja):	32
Päiväys:	4.4.2013
Opinnäytetyön ohjaaja:	TkL Lauri Kantola
<p>Työn alkuperäisenä tarkoituksena oli asentaa aihion dimensiomittari Tornio Works sulattolinja 1:lle ja suorittaa laitteelle käyttöönotto. Syksyn 2011 aikana uudet investoinnit aiheuttivat sen, että laitteisto jouduttiin väliaikaisesti purkamaan ja opinnäytetyö sai uuden suunnan. Tässä vaiheessa työ rajattiin selvittämään paras mahdollinen asennuspaikka uuteen rullarata-asetelmaan.</p> <p>Työn alkuvaiheessa verrattiin mittalaitteella tehtyjä aihion dimensiomittauksia käsin tehtyihin mittauksiin. Heti alkuun ilmeni ongelmia vanhan rullaratajärjestelmän asennuksessa. Rullaratojen korkeudet ja pyörimisnopeudet eivät olleet tasaisia, mikä aiheutti mittalaitteistossa merkittäviä virheitä. Käsimittausten ja laitteistolla tehtyjen mittausten vertailu osoittautui erittäin hankalaksi mm. mittausohjelman puutteellisuuksien takia.</p> <p>Dimensiomittari purettiin uuden rullaradan tieltä ja opinnäytetyön laajuuden takia työ muutettiin koskemaan laitteiston uudelleen asentamista. Investointien nopean tahdin ja lyhyen rakennusajan takia laitteiston sijoitusta uuteen tehdastilaan ei otettu huomioon. Täten sen sijoitus joudutaan toteuttamaan jälkiasennuksena. Kaikkien aihiodien mittaus ja asennuksen käytännöllisyys olivat tärkeimmät seikat uutta paikkaa etsittäessä.</p> <p>Sijoituspaikkojen vertailussa oli mukana eri rullarata-alueita, joista johdonmukaisin ja tilaltaan käytännöllisin löytyi merkkaurullaradalta sekä osittain aloitusketjun nostopaikan päädyssä. Mittausohjelma oli alun perin tehty huomioimaan aihion pysähtyminen merkkaukseen, joten laitteiston ohjelmistoa ei tarvitse päivittää. Laitteiston asentamiseen liittyviä muutostöitäkään ei rullarata-alueelle ilmennyt lukuun ottamatta yksittäisten portaiden siirtämistä metrillä. Suurimmat mekaaniset työt tulevat olemaan jäähdytys-, lämmitys- ja paineilmalinjojen uudelleen vetäminen sekä laitteiston kiinnitys lattiaan.</p>	
Asiasanat: asennus, purkaminen, mittaus, ulottuvuus, rullarata.	

ABSTRACT

KEMI-TORNIO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology

Degree programme:	Mechanical and Production Engineering
Author:	Mikko Koivumäki
Thesis title:	Installation of Slab Dimension Measurement System
Pages (of which appendixes):	32
Date:	4 April 2013
Thesis instructor:	Lauri Kantola, LicSc
<p>The purpose of this final project was to install a slab dimension measurement system for Tornio Works steel melting shop line number one. During the winter of 2010, measurement system was installed but it had to be dissembled in the annual down time in the fall of 2011. New roller tables were installed at that time. Therefore, subject of the final project was changed to find a suitable installation place for the measurement system.</p> <p>In the beginning, the idea was to compare slab dimensions between manual and system measurements. There were serious issues in lining of the old roller tables, the height of each roller table involved in the installation was different causing the slab to bounce when coming to new roller table segment. Proper test measurements could not be done because of inadequate software programming.</p> <p>In the fall of 2011 the annual down time and the new investments caused the removal of the measurement system. The final project took a turn in a new direction focusing on finding a suitable installation place for the system in the new roller table configuration. The most valued qualities were the measurement of all slabs and easy installation.</p> <p>The best place for installation was found in the marking roller table segment and part of dummy bar table. Measuring software was made to take note of the slab stopping during marking so there is no need to upgrade the software. Only small modifications have to be made mechanically to the surroundings of the marking table apart from standings and new lines for heating and ventilation for measurement lasers/scanners.</p>	
Keywords: installing, disassembly, measuring, dimension, roller table.	

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 VALUKONE	9
2.1 Prosessi	9
3 AIHION OMINAISUUDET	11
3.1 Aihion viat	12
4 AIHION DIMENSIOIDEN MITTAAMINEN	17
4.1 Mittausjärjestelmä	17
4.2 Laser käyttöturvallisuus	20
5 KÄYTTÖKOKEMUKSET MITTALAITTEESTA	22
5.1 Mittaukset laitteella	22
6 UUDELEENSIJOITTAMINEN	24
6.1 Aloitusketjun syöttöpaikka	24
6.2 Merkkauspaikka	25
6.3 Nostopöytä	27
6.4 Kuumakuoppien nostopaikka	28
6.5 Yhdistelmäpaikat	29
6.6 Lopullinen sijoituspaikka	30
7 POHDINTA	31
8 LÄHTEET	32

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

JTSU	Terässulatto
JVK 1	Jatkuvavalukone 1
Kuva	Kuumavalssaamo
CCD	Light sensitive cells to detect the position of reflection
EMS	Electro magnetic stirrer
pl	Polttoleikkaus

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön alkuperäinen tavoite oli suorittaa LAP Laser GmbH:n aihion dimension mittaustalaitteistolle käyttöönotto ja määrittää kutistumiskertoimia eri teräslajeille. Työ on tehty Outokumpu Tornio Worksille. Laitteisto otetaan käyttöön terässlattolinja-1:lle. Opinnäytetyö eteni aluksi suunnitellusti, mutta syksyllä 2011 terässlattolinjan muutostyöt aiheuttivat sen suuntaamisen uudella tavalla. Terässlattolinja 1:n kehittäminen aiheutti mm. sen, että laitteisto jouduttiin väliaikaisesti purkamaan. Laitteisto asennetaan uudelleen paikalleen kun tarvittavat piirustukset ovat valmiit.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan tarkoitus oli suorittaa käyttöönottestit, joilla hyväksytään laitteen mittaustarkkuus, jolloin päästäisiin mittaamaan yleisempien teräslajien kutistumiskertoimia. Ongelmia aiheuttivat kuitenkin opinnäytetyön tekijän sitoutuminen työsuhteeseen Outokumpu Tornio Worksin kanssa sekä uuden automaattinosturin käyttöönotto, terässlattoprosessin katkeamattomuus ja sen aiheuttamat käytännön ongelmat mittausten suorittamisessa. Työn uudelleenarviointi sekä kehityshankkeet aiheuttivat sen, että opinnäytetyössä perehdyttiinkin laitteiston asennuspaikan uudelleen sijoittamiseen. Uuden asennuspaikan valinnan apuna käytettiin jo valmiiksi tehtyjä mittauksia ja kokemuksia vanhan asennuspaikan aiheuttamista ongelmista mittaustuloksissa.

Aihion dimension mittalaite tuo tarkan tiedon aihion pituudesta, paksuudesta, leveydestä sekä sivuprofiilista. Tietoa tarvitaan aihion paikoituksen määrittämisessä automaattinosturille ja se helpottaa aihion jatkokäsittelyä kuumavalssaamalla. Dimensioiden tarkan tiedon avulla pystytään vähentämään dimensiovirheiden aiheuttamia tuotannonmenetyksiä ja kuumavalssaamalla syntyvää reunanaarmua. Lisäksi mittalaite tarjoaa mahdollisuuksia havaita teräslajien käyttäytymistä eri valuolosuhteissa, jolloin mittalaite nopeuttaa tutkimustoimintaa verrattuna vanhoihin käsimittauksiin.

Työssä tarkastellaan aihion ominaisuuksia, miten ne syntyvät, mitkä ovat ns. vikoja ja mitkä niistä voidaan hyväksyä ja toimittaa aihio jatkokäsittelyyn kuumavalssaamolle. Työssä käydään läpi, miten dimension mittalaite toimii ja edesauttaa aihion ominaisuuksien havaitsemista sekä informaation hyödyntämistä parhaalla mahdollisella tavalla. Lisäksi esitellään mittalaitteen testivaiheen käyttökokemuksia sen asennusvaiheesta

mittausten tekoon, sekä mittausten aikana havaittujen ongelmien hyödyntämistä laitteiston uudelleen sijoittamisessa.

2 VALUKONE

Terässulattolinja 1:n jatkuvavalukone rakennettiin vuonna 1976, jonka jälkeen sitä on modernisoitu vuonna 1986, jolloin vaihdettiin senkkatorni. Vuonna 1996 valukaari uusittiin ja vuonna 2004 kokilli ja hyssyttimet vaihdettiin. Vuoden 2011 seisakissa uudistettiin polttoleikkauskone, rullaratoja ja lisättiin EMS-laite. (Puska, 22.3.2011, haastattelu).

Valukone jäähdyttää sulan, antaa sille muodon ja leikkaa valunauhasta aihioita. Valukone luo 800 – 1600 mm:n levyisiä aihioita, joiden pituus vaihtelee 4,5 – 14 m:n välillä. Kokilli antaa aihiolle lopullisen paksuuden joka on JVK 1:llä 167mm. Aihion paino vaihtelee 7- 26 t:n välillä. (Karjalainen, 22.3.2011, haastattelu).

2.1 Prosessi

Valukoneen prosessi alkaa siitä, kun senkkatorniin nostetaan sulaa sisältävä valusenikka. Senkkatorni käännetään valukoneen kokillin päälle. Senkkatornin ja kokillin välissä on väliallas. Väliallas toimii puskurina kokillin ja senkan välissä mahdollistaen usean senkan pituiset valut eli jatkuvavalun. Välialtaaseen asennetaan myös valuputki, joka ohjaa sulan kokilliin sekä suojaa sulaa epäpuhtauksilta. Molemmat, sekä väliallas että valuputki, kuumennetaan riittävän kuumaksi, jottei sula aiheuta vaaraa laskeutuessaan välialtaaseen eikä jähmety liian kylmään valuputkeen. Senkan ja välialtaan välille asennetaan suihkunsuojaputki, joka kontrolloi sulan laskua välialtaaseen sekä ehkäisee epäpuhtauksia pääsemästä sulaan. Välialtaaseen heitetään peitostetta, joka estää lämpöä karkaamasta sulasta ja epäpuhtauksien yhdistymistä sulaan.

Kokilli toimii muottina sulalle ja siinä sulan pääasiallinen jäähtyminen tapahtuu. Ennen valua kokilliin syötetään aloitusketju. Aloitusketju mahdollistaa valunauhan siirtämisen valukaarta pitkin polttoleikkauskoneelle. Ennen valun alkua aloitusketju tiivistetään kokilliin paperinarulla, jottei sula pääse valumaan hallitsemattomasti valukaarelle. Tiivistyksessä käytetään myös jousia ja teräshilppua, jotka jäähdyttävät sulan ja aloitusketjun yhtymiskohtaa siten, että teräksen saa helposti irti prosessin myöhemmässä vaiheessa.

Kun sula lasketaan välialtaasta kokilliin, alkaa itse valu. Kokillia hyssytetään valun ajan. Hyssytys estää sulan jähmettymisen kokilliin ja parantaa teräksen ominaisuuksia. Aloitusketju lähtee vetämään itseään kaaren läpi. Kaarella valunauhaa jäähdytetään edelleen vedellä.

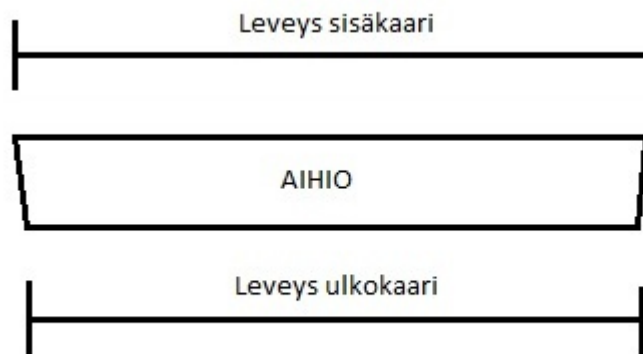
Polttoleikkaukseen saapuessaan aloitusketju ja valunauha leikataan irti toisistaan ja aloitusketju siirretään sivuun rullaradalta. Polttoleikkauskone katkoo ennalta määrätyn pituisia aihioita valunauhasta. Nykyisellään aihion pituusmittaus tapahtuu takometrin avulla. Takometri on valukoneen vetokoneen rullaan sijoitettu pulssianturi, joka laskee aihion pituutta rullan pyörähdysten mukaan. Pulssianturi mittaa rullan kehää useaan otteeseen yhden kierroksen aikana täten hyödyntäen tietoa rullan kehän koosta. Tiedolla saadaan kohtalaisen tarkka mitta aihioista.

Aihion paksuustieto perustuu vain kokillin paksuuteen. JVK 1:llä kokilli on todellisuudessa 176mm paksu, mutta johtuen sulan jäähtymisestä, kutistuu sula noin 170 mm:n paksuiseksi ahioksi. JVK 1:n valukaarella aihio valssataan valssitelalla, joka on kaaren lopussa. Valssaus ohentaa ahiota noin 3 mm. Lopullinen aihion paksuus on 167 mm.

3 AIHION OMINAISUUDET

Aihion ominaisuudet syntyvät teräslajin sisältämisestä seosaineista, valulämpötilasta, kokillista, valukaaren pituudesta, valunopeudesta sekä valunauhan jäähtymisestä valun aikana eri kohdissa. Aihion edellytys jatkokäsittelylle on siinä havaittavien ominaisuuksien hyväksyminen Outokummun sisäisten standardien mukaan. Ominaisuudet ovat pituus, paino, leveys, paksuus, tasaisuus, suoruus sekä analyysi, eli aihion koostumus. Kaikille näille on toleranssinsa, joista osa on seurausta toisen ominaisuuden toleranssin ylittymiselle tai alittumiselle. Lisäksi poikkeamat, joita kutsutaan yleensä aihion vioiksi, ovat myös aihion hylkäämisen syitä.

Aihion havaittavat ominaisuudet kuten pituus, leveys ja paksuus syntyvät ennalta määrätyn tavan mukaan. Aihion leveyteen vaikuttaa kokilli, joka on muodoltaan suorakulmio. Kuitenkin kaarityyppisen valukoneen takia aihio ei ole täysin suorakulmainen. Valukaari taivuttaa ahiota, jolloin valunauhan sisäkaareen kohdistuu puristusjännitystä ja ulkokaareen vetojännitystä. Tästä syystä aihion ulkokaaren puoli on leveydeltään hieman kapeampi kuin sisäkaari, kuten kuvasta 1 nähdään. (Petäjäjärvi 22.3.2011, haastattelu).



Kuva 1. Aihion suorakulmaisuus.

Kokillissa on ns. leveät sivut ja kapeat sivut. Kokillin kapeita sivuja pystytään liikuttamaan siten, että voidaan tehdä erilevyisiä aihioita. Kokillin kapeat sivut muodostavat kartion, joka kapenee kohti kokillin pohjaa. Kokillin kapeiden sivujen tehtävänä on olla kosketuksissa valunauhaan antaen mekaanista tukea ja jäähdyttää sitä. Aloitusketju ajetaan kokilliin, joka saattaa valun ulos kokillista sekä kaarelta. (Karjalainen, 22.3.2011, haastattelu).

Aihiolle voidaan tehdä jatkuvavalun aikana myös leveysmuunnoksia, toisin sanoen kavennuksia. Näitä tehdään silloin, jos yksi aihio on eri leveyinen muihin nähden. Kuitenkin huomioidaan aihion jatkokäsittely, jonka vuoksi yhteen aihioon ei tule enempää kuin 41 mm kavennusta. Muuten kuumavalssaamalla aihio tulee törmäämään sivutukiin.

Kokilli määrittää myös aihion paksuuden, josta JVK1:llä valssataan 3 mm pois. Pituus määräytyy laskennallisesti huomioimalla kaarenpituus, aloitusketjun pituus sekä vetotelalla sijaitsevan pulssianturin antama tieto.

Ominaista jatkuvalle valulle on myös valun ensimmäisen ja viimeisen raudan dimensiomuutokset. Valun ensimmäistä rautaa kutsutaan 1-raudaksi ja viimeistä rautaa 0-raudaksi. Valun ensimmäinen rauta jäähtyy voimakkaammin kokillissa ja altistuu vähemmän ferrostaattiselle paineelle, joten se on keulastaan kapeampi. Valun viimeinen rauta altistuu puolestaan vähemmälle ferrostaattiselle paineelle, jolloin sekin kapenee häntäänsä kohden. (Petäjäjärvi 22.3.2011, haastattelu).

Valuteknisesti voidaan sanoa, että ferrostaattinen paine pyrkii levantämään aihiota, kun taas teräksen jähmettyminen pyrkii kutistamaan aihiota. Tästä syystä on valukoneen luoma mekaaninen tuki tärkeä, jotta aihion dimensiot eivät muutu yli toleranssien. Valun ensimmäinen rauta hiotaan, koska valun aloitus tapahtuu hitaasti kiihdyttämällä täten alistaen rautaa pintavioille. (Petäjäjärvi 22.3.2011, haastattelu).

3.1 Aihion viat

Aihioon muodostuvia vikoja voi olla monenlaisia. Viat jaetaan kolmeen kategoriaan:

1. Pintaviat, esim. murtumat, kuopat, halkeamat, tartunnat.
2. Aihion muotoviat, esim. pullistumat, leveys tai paksuusviat, sivukäyryys.
3. Sisäiset viat, kuten sulkeumat tai sisäiset murtumat/halkeamat.

Pintavikatapauksissa aihio pyritään saamaan viattomaksi hiomalla se sisä- ja ulkokaarelta, joissain tapauksissa paikallisesti pelkästään vikakohdista. Vian syvyys voi kuitenkin

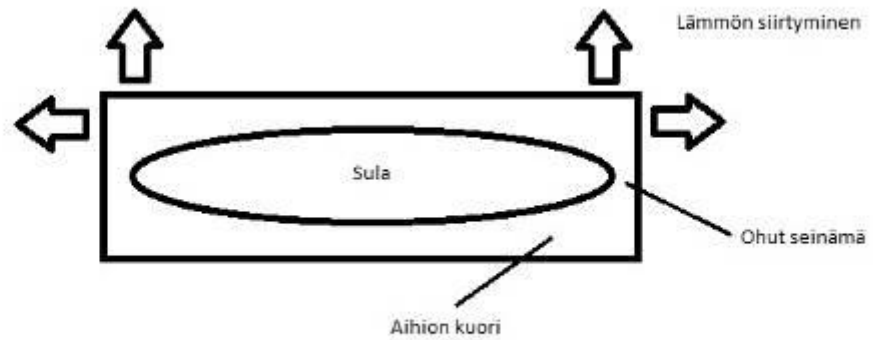
olla niin suuri, ettei hionta riitä aihion pelastamiseksi. (Petäjäjärvi 22.3.2011, haastattelu).

Dimensiomittarilla nähdään helpoiten aihion muotoviat. Jotkin pintaviat aiheuttavat aihion dimension muutoksia, esimerkiksi useissa halkeamatapauksissa aihio levenee halkeaman kohdalta. Kuvassa 2 nähdään esimerkki aihion pintaviasta.



Kuva 2. Pintavika, halkeama aihiossa

Muotovioista kapeiden sivujen pullistumat ovat havaittavissa silmin, kuten myös dimensiomittarilla. Pullistuma johtuu ferrostaattisesta paineesta sekä valunauhan tuennasta. Pullistuma saa alkunsa kokillissa. Sula jäähtyy kokillissa tehden siihen kuoren. Lisäksi se jäähtyy herkimmin kokillin kulmissa aiheuttaen kapeille sivuille ohuemman kuoren. Tällöin ferrostaattinen paine, tuen uupuessa, pullistaa valunauhan kapeat sivut. Valunauha on muutoin mekaanisesti tuettu kaarella, jolloin sillä ei ole mahdollisuutta paksuus- tai leveysmuutoksiin. Kuvassa 3 nähdään pullistuman periaatekuva. Kuvassa 4 on aihion pullistuma. (Petäjäjärvi 22.3.2011, haastattelu).



Kuva 3. Kapeansivun pullistuman periaatekuva.



Kuva 4. Kapeansivun pullistuma.

Taipumista tapahtuu yleensä siinä vaiheessa kun aihio pääsee jäähtymään liian nopeasti tai kun se altistuu jäähtymisen jälkeen uudelleen lämmölle. Yleensä taipumiset tapahtuvat jäähdityshalleissa, joissa aihiot pinotaan kasoihin odottamaan jatkoprosessia. Taipumisia tapahtuu useasti silloin kun pinotaan lyhyen aihion päälle pitempi kuuma aihio, joka sitten taipuu päistään. Kylmän aihion pinoaminen kuuman aihion päälle aiheuttaa myös ajan kuluessa taipumista. Heikot teräslajit saattavat myös kylmänä taipua oman massansa alla. Esimerkki aihion taipumisesta on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Aihion taipuminen.

Leveysmuutokset voivat olla myös vikoja, esimerkiksi jos kavennus ylittää aihion leveydessä yli 41 mm:llä. Valukonejärjestelmä antaa kaksi mahdollista tapaa kaventaa aihiota. Vakiomatkakavennuksessa kavennus tapahtuu yhden aihion matkalla tasaisesti. Vaihtoehtoinen tapa on vakionopeuskavennus, jolla pyritään tekemään mahdollisimman nopea kavennus ilman että kone puhkeaa. Esim. 40 mm:n kavennus aihiolle tehdään 20 mm/aihiometri. (Petäjäjärvi 22.3.2011, haastattelu).



Kuva 6. Liiallinen kavennus.

Polttoleikkausjälki on muotovika. Valunauhasta aihiota katkaistaessa polttoleikkauskone saattaa saada toimintahäiriön, jonka vuoksi kone erehtyy yrittämään katkaisua, muttei saata sitä loppuun. Polttoleikkausjälki aiheuttaa valssatussa tuotteessa muotovikoja,

joten ne on poistettava ennen aihion toimittamista jatkokäsittelyyn kuumavalssaamolle. Kuvassa 7 on esimerkki polttoleikkausjäljestä.



Kuva 7. Polttoleikkausjälki aihiossa.

Dimensiomittarilla päästään kiinni vikoihin, jotka muuttavat aihion ulkomuotoa. Murtumat eivät näy suoraan dimension mittalaitteen tuloksista, sillä ne ovat liian pieniä eivätkä aiheuta näkyvää muutosta aihioon.

4 AIHION DIMENSIOIDEN MITTAAMINEN

Lasermittaus tuo erilaisiin mittauksiin suuremman mittatarkkuuden verrattuna konventionaalisiin menetelmiin, kuten nauhamittauksiin tai rullamittauksiin, pulssiantureihin yms. Lisäksi mittaustuloksia saadaan useasta pisteestä yhdellä mittauskerralla. Mittausmenetelmänä laser on myös nopea. Mittausjärjestelmä ei myöskään fyysisesti kosketa mitattavaa pintaa, joka voisi jättää ylimääräisiä jälkiä mitattavaan kappaleeseen. Toisaalta useamman dimension mittauksessa syntyvä tieto joudutaan prosessoimaan tietokoneella, joka suorittaa tarvittavat laskut, jotta mittaustieto saadaan ymmärrettävään muotoon. Tämä kasvattaa laitteiden kokoa ja määrää. Tarvitaan mittasensoreita, jakokaappeja, prosessoreita datan kuljetukseen ja prosessointiin sekä monitoreita datan lukemiseen.

Riippuen käyttötarkoituksesta ja laitteistoista voidaan lasermittauksella mitata pelkästään tiettyjä mittoja, esim. kappaleen pituutta tai vaikkapa paksuutta. Vaativassa käytössä voidaan käyttää laserskannausta esimerkiksi luomaan 3D-malli kappaleesta.

4.1 Mittausjärjestelmä

LAP-laserin mittauslaitteisto on alun perin suunniteltu JVK1:n alaohjaamon valvomon alapuolelle sekä polttoleikkauskoneen jälkeiselle rullaradalle. Optisia rajakytkimiä oli alun perin suunniteltu asennettavaksi viisi kappaletta, mutta ennen toimitusta havaittiin tarve kuudennelle rajakytkimelle, jolloin saadaan entistä tarkempi mittaustulos lyhyimmistä aihioista. Kuvassa 8 nähdään mittalaitteisto toiminnassa.



Kuva 8. Dimensionmittari

Asennettu laitteisto koostuu kahdesta lasersensorista, kolmesta skannauslaserista ja kuudesta optisesta rajakytkimestä. Mittaskannerit koostuvat yhdestä Antaris L-skannerista, joka mittaa yhdessä optisten rajakytkimien kanssa aihion pituuden. Antaris L-sensorit mittaavat aihion käyryyden. Lisäksi molemmin puolin rullarataa Antaris L-sensorien välissä (itäpuolella ja länsipuolella) on Antaris L-skannerit, jotka mittaavat aihion leveyden, sivuprofiilin ja paksuuden. Skannereissa on lisäksi pyrometrit, jotka kertovat aihion sivujen lämpötilat. Kaikki sensorit ja skannerit ovat koteloitua ruostumatomalla teräksellä, kuten myös kuusi optista rajakytkintä ja niiden vastaanottimet.

Mittalaitteen sensorit ja skannerit toimivat kolmiomittausperiaatteella. Kaikki sensorit sisältävät laserlähteen, optiikan ja korkearesoluutioisen CCD-keilan sekä huippunopean digitaalisen signaaliprosessorin, joka arvioi ja laskee etäisyyden mitattavan kohteen pintaan. (LAP GmbH, Installation and Operating manual. 2007,11).

Laite tuottaa mitattavaan kohteeseen tarkasti kohdistetun lasersäteen, jonka heijastuksen sensorissa/skannerissa oleva CCD kenno (light sensitive cells to detect the position of reflection) havaitsee. CCD:hen heijastuu optiikan kautta säde, jonka kohta riippuu mitattavan kappaleen etäisyydestä. CCD:hen heijastautuvan säteen kohta tallentuu ja se lähetetään digitaaliseen signaaliprosessoriin, joka arvioi heijastuvat pikselit ja laskee etäisyyden kohteeseen. Optiikan takia laitteistolla on kaksi arvoa. ”Stand off” on alue

jossa ei mitata sekä ”measuring range”, jonka sisällä pystytään havaitsemaan lasersäde ja saadaan mittaustulos. (LAP GmbH, Installation and Operating manual. 2007,11).

Järjestelmä aloittaa mittauksen automaattisesti, kun ensimmäinen optinen rajakytkin havaitsee aihion. Järjestelmä siis käynnistyy automaattisesti. Järjestelmä huomioi rulla-radan nopeuden, joka on 30 m/min, laskiessaan aihion dimensioita. Tuotannonohjaus-järjestelmä Qmato lähettää emotietokoneelle esisäätötiedot tulevasta aihioista. Tiedoissa ilmoitetaan aihion suunniteltu pituus, paksuus ja leveys sekä teräslaji. Laitteisto valmistautuu näiden tietojen perusteella ja pystyy näin tekemään tarkemman mittauksen aihioista. Mittalaitteen hankkima tieto kerätään yhteen tietokoneeseen, joka prosessoi ja muuttaa sen graafiseksi esitykseksi, josta esimerkki kuvassa 9. Ohjelmistoon on ennalta asetettu muutamia havaittuja kutistumiskertoimia tietyille teräslajeille, jotka ohjelmisto ottaa huomioon antaessaan aihioista mittaustuloksen. Mittaustulos ilmoitetaan jäähtyneelle aihiolle.

Ohjelmisto kerää kaikki mittaustapahtumat yhteen ja tallentaa ne omalle kovalevyllään sekä ethernetin kautta myös verkkokovalevyllä. Näin tiedot ovat aina ulottuvilla.



Kuva 9. Käyttöliittymä

Skannereille on myös varattu puhallin sekä 36 kW:n lämmitin. Puhaltimen tehtävä on pitää skannereiden kotelossa ylipaine, jotta lika poistuisi kotelosta eikä se tarttuisi skannerin linssihin. Tällä myös pystytään jäähdyttämään skanneria lämpimissä olosuhteissa. Lämmittimen tehtävänä on taas kylmissä olosuhteissa tuottaa skannereille lämmintä ilmaa ja pitää ilma suhteellisen kuivana, jottei optikkaan tiivisty vesihöyryä. Laitteisto toimii automaattisesti pyrkien pitämään koteloiden lämpötilan alle 30° C:ssa. Termostaatin avulla ohjataan puhaltimen toimintaa siten, että se aloittaa lämmittämisen 18° C:ssa ja jäähdyttää jos lämpötila nousee yli 25° C:een. Optisten rajakytkimien vastaanottiin johdetaan paineilmaa joka pitää lian pois linseistä ja samalla jäähdyttää vastaanottimia.

JVK 1:lle asennetut sensorit ja valoverhot toimivat näkyvän valon aallonpituuksilla. Sensoreiden ja optisten sensoreiden aallonpituus vaihtelee 650 – 670 nm:n välillä, jolloin näkyvä lasersäde on punainen. Mittauslaitteet ovat kaikki räätälöityjä JVK 1:n olosuhteisiin.

4.2 Laser käyttöturvallisuus

Laser tulee sanoista Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, joka tarkoittaa suomeksi valon vahvistamista säteilyn stimuloidulla emissiolla. Laser on optinen laite, joka tuottaa koherentin valonlähteen. Säteilynä tässä tapauksessa toimii valo, jonka keskenään samassa vaiheessa olevat, samanpituiset ja samassa suunnassa värähtelevät aallot vahvistavat toisiaan. Laserlaitteen tuottamassa valonsäteessä voi siis olla erittäin paljon energiaa. Laserin tuottaman valonsäteen energian mukaan laitteet jaetaan eri luokkiin.

Vuonna 2008 on valtioneuvosto antanut asetuksen laserlaitteista ja niiden tarkastuksista (291/2008). Kyseinen asetus on peräisin Euroopan standardisoimiskomitean vahvistamasta standardista EN 60825-1 / SFS EN 608251. (Jokela, Ylianttila, Visuri & Hieta-nen, hakupäivä 24.3.2013).

Kyseisen asetuksen perusteella määritellään laserit erilaisiin turvallisuusluokkiin niiden vahingollisuuden mukaan. Luokka kasvaa laserin vahingollisuuden kasvaessa. Kyseiset luokat ovat 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B ja 4. Luokka määritellään ottamalla huomioon laitteen

normaali ja viallinen toiminta. (Valtioneuvoston asetus laserlaitteista ja niiden tarkastuksista 291/2008 3 §).

Laitteen mukana toimitettiin päävirtakaappi, jossa on virta-avain. Tällä järjestelmällä voidaan kytkeä järjestelmä virrattomaksi kun alueella tehdään huoltotoimenpiteitä. Lisäksi virta-avain on mahdollista poistaa, jottei vahinkokäynnistyksiä tulisi. Lisäksi optiona on asentaa mittausalueelle mentäessä turvakytkimet, jotka oven avautuessa sammuttavat laserit. Asennuksen yhteydessä on tärkeää merkitä jokaiseen jäähyhallin sisäänkäyntiin tarvittavat varoitusmerkinnät laserlaitteesta. Kuvissa 10 ja 11 nähdään tarvittavat varoitusmerkinnät.

Alueella työskentelevää kunnossapidon sekä prosessin henkilöstöä on tiedotettava laitteen tuomista vaaroista sekä opetettava laitteen turvalliseksi tekeminen. Mittalaitteen alueella liikkumista on yleisesti ottaen syytä välttää.



Kuva 10. Lasersäteilyn varoituskilpi



Kuva 11. 3B teholuokan laserin varoituskyltti

5 KÄYTTÖKOKEMUKSET MITTALAITTEESTA

Mittalaitteen asennus alkoi joulukuussa 2009, jolloin LAP:n asennusinsinöörit saapuivat tehtaalle. Mittalaitteiden paikat olivat jo ennalta määrättyt, joten tehtaan kunnossapito oli asentanut tukijalkoja mittalaitteille. Sähköpuoli hoiti tarvittavan kaapeloinnin vetämisen mittalaitteilta yhdyskoneeseen sekä muihin tarvittaviin järjestelmiin. LAP:n insinöörit pääsivät suoraan asentamaan laitteistoa. Laitteisto saatiinkin kytkettyä toimintavalmiuteen heti ensimmäisellä käyntikerralla, jolloin pystyimme tekemään mittauksia sillä välin kun asennusryhmä tulisi uudestaan joulun jälkeen. Suoritin kymmenkunta mittausta laitteella ja pystyimme havaitsemaan valmiiksi virheitä aihion paksuuden mittauksessa. Asennusryhmä teki havaintojen perusteella muutoksia ja asensi laserin ”stand off”-alueelle levyn, johon pituusmittarin keila asennoitui, kun laitteen näkökentässä ei ole mitattavia kappaleita.

Muutaman viikon ajan LAP:n ohjelmoija oli koodaamassa ohjelmistoa ja laitteistoa siten, että se pystyisi vastaanottamaan Outokummun qmato-järjestelmästä tietoa sekä tuottamaan sitä takaisin sinne. Loput käyttöliittymäasiat hoitaa Outokummun oma tietotekniikkapuoli.

5.1 Mittaukset laitteella

Suoritin vuosien 2010 ja 2011 aikana 7 täysimittaista ahiomittausta, joissa mitatut ahiot olivat laaduiltaan perusuostumattomia, ferriittisiä sekä mangaaniaihioita. Osa niistä oli ykkösaihioita tai nolla aihioita. Mittaukset tehtiin käsin mittanauhalla, mikrometrillä sekä työntömitalla. Tämän jälkeen sopivassa ajankohdassa ahiot ajatettiin skannerin läpi useampia kertoja. Heti alkuun mittauksissa ilmeni ongelmia, nimittäin vanha rullarata oli ketjuvetoinen ja eri rullaradat tuntuivat olevan eri korkeuksilla. Lyhyt aihio pyrki kääntymään alaohjaamon valvomon kohdalla. Tämä aiheutti myös kolahduksen, joka vaikutti varsinkin paksuuden mittaukseen antaen ylä- ja ala arvoiksi mahdottoman suuria arvoja. Vaikka laite leikkasi näitä järjettömän suuria arvoja, eivät tulokset kuitenkaan vakuuttaneet tarkkuudellaan.

Laitteiston sijainti rullaradalla aiheutti myös mekaanisia ongelmia. Muutaman kuukauden käytön jälkeen havaittiin, että viimeinen optinen rajakytkin valusuunnassa oli toimintakyvytön. Syynä tähän oli lämpösäteily, joka katkoi sähköjohdot rajakytkimeen.

Aihion tullessa merkkaukseen aiheutti se kuumudellaan johtojen palamisen. Tästä johtui myös se että kertaalleen rajakytkin meni oikosulkuun ja se jouduttiin korvaamaan varaosalla. Kaikki johdot, jotka todettiin olevan alttiina lämpösäteilylle suojattiin lämpöä eristävillä kankailla, jolloin ne saatiin kestämään kuumuutta.

6 UUELLEENSIIJOITTAMINEN

Dimension mittalaitteen uudelleensijoittamisessa on otettava monta seikkaa huomioon. On tärkeää huomioida uuden paikan tuomat edut ja haitat. Lisäksi on ymmärrettävä mitä yhtiö laitteelta haluaa. Tällä hetkellä mahdollisia sijoituspaikkoja on 4 kappaletta, mutta jokainen niistä tuo mukanaan haasteita. Asennuskohtaa valittaessa on punnittava eri vaihtoehtoja ja valittava lopulta se, mikä tuottaa eniten hyötyä eikä liikaa haittoja.

Asennuksessa on otettava huomioon apulaitteiston sijainti, kuten esim. jäähdytysputket, paineilmalaitteisto, keskustietokone, sähköistys ja huollon helppous. Apulaitteiston osalta kaikissa paikoissa on kuitenkin erittäin helppoa asentaa rullaradan ylittäviä siltoja, joiden avulla saadaan paineilmajäähdytys sekä lämmittimen/jäähdyttimen putkistot vietyä rullaradan yli. Laitteiston tarvitsema serveri, eli päätietokone, asennetaan kaikissa tapauksissa JVK1:n alaohjaamon sähkötilaan. Sähkötila sijaitsee alaohjaamon alakerassa, jossa serveri on suojassa jäähyhallin olosuhteilta.

Pääsääntöisesti laitteella on tarkoitus mitata kaikkien linja-1:n aihoiden dimensiot, suoraan valusta tulleina. Seuraavana seikkana onkin laitteen vaurioitumisalttius. Jos laite esimerkiksi asennetaan automaattinosturin alueelle tai aloitusketjun nostimen kohdalle voi siihen tulla vaurioita vikatilanteessa. Kaikilla paikoilla on omat etunsa ja haittansa.

Oli sijoituspaikka loppuen lopuksi mikä tahansa, täytyy laitteiston ohjelmistoon tehdä muutoksia. Tiettyjä asetusarvoja pystytään itse muuttamaan Client-ohjelmasta. Suuremmat ohjelmistomuutokset joudutaan tekemään LAP-asentajan toimesta.

6.1 Aloitusketjun syöttöpaikka

Aloitusketjun syöttöpaikka olisi periaatteessa optimaalinen paikka dimensiomittarin sijoittamiselle siitä syystä, että paikastaan johtuen kaikki aihiot saataisiin mitattua huolimatta siitä mihin aihiot kulkeutuvat jatkoprosessiin. Lisäksi etuina olisivat mittauksessa tasainen nopeus sekä liikkeen jatkuminen.

Tässä sijoituspaikassa haasteeksi muodostui aloitusketjun nostimen laitteisto sekä tilanpuute alueella. Tarvittavan laitteiston asentaminen saattaisi siksi olla hankalaa. Vasem-

mallalla puolella rullarataa on massiivinen nostokoneisto, joka aiheuttaa sen että skannerien asennukselle ei löydy tarvittavaa tilaa. Oikealla puolen rullarataa sijaitsee vuorostaan rullaradan moottorit, joiden lomaan tai perään asentaminen saattaa aiheuttaa liikaa säätötarvetta kyseiselle laitteelle. Optisten rajakytkimien ja vastaanottimien sijoitus olisi kuitenkin helppoa. Vastaanottimia pystyy sijoittamaan rullaradan alapuolelle ja lähettämiä on helpompi sijoittaa oikealle puolelle rullarataa. Kuitenkin vasemman puolen rullaradan tilanne on sellainen, ettei siihen suoranaisesti mahdu kolmea kappaletta skannereita.



Kuva 12. Aloitusketjun syöttöpaikka

6.2 Merkkauspaikka

Merkkauspaikalle sijoitettava mittauslaite pystyisi myös mittaamaan kaikki tuotetut aihiot. Prosessi pysyisi samana, sillä vanhalla asennuksella mittalaite mittasi myös merkkauksessa olevia aihioita, mutta jätti huomioimatta mittaustuloksia kun aihio ei ollut liikkeessä. Asennusvaiheen ohjelmiston toiminta ei luultavammin muuttuisi kovinkaan paljoa vanhasta tilanteesta. Pöydällä ei myöskään olisi prosessinostoja automaattinosturilla, jolloin kaikki nostot olisivat manuaalisia ja poikkeustilanteita. Tämä vaatisi tarkkuutta nostoissa, jolloin riski laitteiston vaurioitumiseen on minimaalinen. Riskinä on myös se, että valukoneelta tuleva aihio voisi tulla laidassa tai pukkaisi itsensä ulos rullaradalla, jolloin laitteiston vaurioituminen olisi todennäköistä.

Sijoituspaikan heikkoutena on kuitenkin merkkauspöydän sekä nostopöydän moottoreiden sijainti, sillä merkkauspöydällä on moottorit vasemmalla puolella kun taas nostopöydällä on moottorit oikealla puolella, jolloin tämä seikka voi vaikeuttaa pituus skannerin asennusta. Huomioitavana seikkana on myös ahiopinojen aiheuttama lämpösäteily, jota kuitenkin voidaan vähentää lämpökilvillä. On myös huomioitava kolmen skannerin tarvitsema tila sekä merkkaukoneen manuaalipainikkeiden käyttämiseen tarvittava tila. Kuten kuvista 13 ja 14 näkyy, myös huoltotason portaiden paikka vähentää skannerien sijoitusmahdollisuuksia. Kuvista näkee myös ahiopinojen läheisyyden sekä moottorien sijainnin rullaradalla.



Kuva 13. Merkkauspaikka sivusta.



Kuva 14. Merkkauspaikka valusuunnasta katsottuna.

6.3 Nostopöytä

Nostopöydälle sijoitettava mittalaitteisto ei pysty mittaamaan kaikkia aihioita. Esimerkiksi myyntiaihiot, jotka nostetaan pinoihin, jäisivät ilman mittausta. Paikalta joudutaan poikkeustilanteissa nostamaan rautoja manuaaliajolla. Tämä lisää riskiä vaurioittaa herkkää mittalaitteistoa.

Edellä mainitulle paikalle olisi kuitenkin tilaa asentaa laitteisto, mutta huomioitavina seikkoina on ahiopinojen läheisyys, josta aiheutuu lämpösäteilyä huomattavia määriä. Lämpösäteilyn vaikutus laitteiston jäähdytykseen voisi nousta ratkaisevaksi tekijäksi. Kuitenkin mahdollisuus torjua lämpösäteilylle altistumista on asentaa ruostumattomista teräslevyistä valmistettuja aitoja suojaamaan laitteita liialliselta kuumumiselta.



Kuva 15. Nostopaikka

6.4 Kuumakuoppien nostopaikka

Kuumakuoppien nostopaikalle sijoitettuna aihionmittauslaite aiheuttaa lisää ongelmia. Pääsääntöisesti kaikki aihiot, jotka menevät kuumakuoppiin tai jäävät jäähyhalliin eivät päädy mittaukseen. Mittaus tapahtuu jäähdytyshallin raudoille vasta kun ne lähetetään eteenpäin. Kuumakuopasta nostetun aihion kohdalla mittausta ei asennuspaikasta riippuen ehkä tapahdu koskaan. Poikkeuksen tähän aiheuttaa vaihtoehto, jossa mittalaite sijoitetaan puoliksi nostopöydän puolelle. Tällöin ongelmia voi kuitenkin aiheuttaa alikulkutunnelin kohdalla oleva ahtaus. Kuvassa 16 on esitetty kuumakuoppien nostopaikka.



Kuva 16. Kuumakuoppien rullarata

6.5 Yhdistelmäpaikat

Yhdistelemällä eri kohtia rullaradalla voidaan mittalaitteen sijoittelu tehdä joustavammin ja saada aikaan tilanne, jossa kaikki aihiot mitattaisiin. Tällaisia paikkoja on muutamia. Kuitenkin lähempi tarkastelu jättää ainoastaan yhden paikan mahdolliseksi. Pääsyyinä muualla on tilanpuute tai tarve turvalliselle liikkumiselle

Optimaalisena vaihtoehtona voidaan pitää ratkaisua, jossa laitteisto sijoitetaan pääosin merkkauuspöydälle, ja pituusskanneri sijoitetaan nostopöydän puolelle. Tällöin päästäisiin nauttimaan useasta merkkauspaikan tuomasta edusta ja minimoidaan laitteistolle nosturiliikenteestä aiheutuvaa vaaraa. Laitteiston sijoittaminen tälle paikalle ei kuitenkaan ole helppoa. Kuvista 12 ja 13 nähdään, että merkkauuspöydän kuumavalssaamon päädyssä vasemmalla puolella on portaat hoitotasolta hallin pinnalle. Tämä saattaa aiheuttaa tarvetta muuttaa hoitotason/portaikoon rakennetta niin, että mahdollistetaan kolmen skannerin asentaminen sen alle. Kuvista näkyy lisäksi rullaratojen oikealla puolen olevien turva-aitojen tuoma ratkaisu lämpösäteilyongelmaan. Ongelma poistuu kun aitaan lisätään ruostumattomat teräslevyt. Tässä ratkaisussa jatkokäsittelyyn menevät aihiot mitataan. Poikkeuksen muodostavat myytävät tai halliin jäävä materiaali, riippuen niiden pituudesta. Aihion mennessä päätyskannerin yli saamme mittaustuloksen aihios-
ta. Jäähdytys ja paineilma saadaan reititettyä rullaradan yli menevän sillan kautta.

6.6 Lopullinen sijoituspaikka

Lopullinen uudelleensijoituspaikka päätettiin 20.9.2012. Paikaksi valikoitui merkkaurullarata, joka alkaa aloitusketjun nostopaikan lopusta. Laitteisto vaatii kokonaisuudessaan yli 18 m pitkän tilan. Uudet rullaradat ovat 12 m pätkinä jonka takia noin 6 m matka menee nostopaikan loppuun. Alustavat mittaukset paljastivat, että muutama optinen rajakytkinpari tulee sijoittumaan rullien kohdalle. Rajakytkimiä ei kuitenkaan tarvitse asentaa alkuperäisellä tavalla, jossa lähetin oli nostettu rullaradan yläpuolelle ja vastaanotin rullaradan alle. Optiset rajakytkimet voidaan asentaa myös vaakatasoon. Tämän seikan varjolla on mahdollista saada laitteisto mahtumaan suunnitellulle paikalle. Yksinomaan asennuspaikan hyödyt ja vanhaan verrannollinen mittaustapahtuma tekevät tästä paikasta tarjolla olevista vaihtoehdoista parhaimman.

Suunnittelupalaveri kunnossapidon kanssa osoitti että laitteiston asentamiselle ei sinänsä ole mitään esteitä. Portaikon paikkaa joudutaan siirtämään noin 1m:ä etelään päin. Vanha laitteisto oli poistettu väkivaltaisesti, joten tästä syystä uudet kaapelit joudutaan tilaamaan, sekä sähköistys laitteistolle joudutaan tekemään uudelleen. Lämmityslaitteen paikka oli entisellään, mutta uudet läpiviennit joudutaan tekemään vedenkäsittelystä pl-halliin. Lisäksi uusi lämmitysputki ja haaroitukset skannereihin joudutaan asentamaan. Tolpat skannereille ja optisille rajakytkimille joudutaan tekemään uudestaan vanhojen jouduttua kierrätykseen. Optisten rajakytkimien koteloinneissa oli puutteita, mutta ne voidaan korjata ennen asennusta. Sähköpiirustukset löytyvät vanhastaan, mutta niissäkin joudutaan käyttämään ulkopuolista suunnittelijaa. Teimme raakaversion asennettavista kohteista, jonka jälkeen kutsumme Mitta Oy:n mittaamaan täsmälliset sijoituspaikat laitteille. Syntyvä suunnitelma toimitetaan suunnittelutoimistolle. Suunnittelutoimisto tekee asennuksesta piirustukset, joiden mukaan kunnossapito asentaa laitteiston.

Asennusvaiheeseen pääseminen vaati piirustuksien valmistumisen. Valmistelevien töiden suorittaminen on kuitenkin hankalaa, sillä rullaradan vierustalla kulkee turva-aita, jonka takia asennuksia ei voi suorittaa tuotannon aikana. Tästä syystä asennus venyy pidemmälle ajalle, ellei yllättäviä tuotannonkatkoksia tai seisakkeja ilmesty.

7 POHDINTA

Työskentely keskeytymättömän tuotannon parissa on haastavaa ja se asettaa monenlaisia ongelmia joita työn aikana kohdattiin monesti. Kaikki työt on tehtävä tuotannon ehdoilla ja näin ollen vain lyhyitä valunvälejä tai viikottaisia huoltoseisakkeja pystytään käyttämään hyväksi. Toisena haasteena työn suorituksessa oli yllättävät investoinnit, jotka aiheuttivat laitteiston purkamisen ja kokonaan rullaratapöytien uusimisen. Kuitenkin tässäkin on puolensa, sillä uudet ja tarkasti asennetut pöydät antavat mahdollisuuden paljon tarkempiin mittauksiin ja laitteiston koko potentiaalin käyttämiseen.

Uuden asennuspaikan valinta oli hankalaa. Laitteistoa ei huomioitu uudessa rullarata-ympäristössä. Tilanpuute vaikeutti paikanvalintaa. Optisten rajakytkimien asennuksessa joudutaan poikkeamaan edellisestä asennuksesta.

Laitteiston käyttäminen tuotannossa on hyödyllistä ja aihion dimensioiden tarkkuus on kuumavalssaamolle ehdotonta, jotta pystytään vähentämään tuotannonmenetyksiä. Laitteisto antaa nopean palautteen aihioden ominaisuuksista, jolloin viallisten aihioden eteenpäinlähetykseen saadaan estettyä.

Laitteiston avulla on myös mahdollista tarkkailla valukoneen kuntoa. Laite pystyy esimerkiksi näyttämään jäähditysongelmat valukaarella käyrien aihioden muodossa. Laitteiston avulla pystytään myös tutkimaan uusien teräslajien käyttäytymistä. Tutkiminen on nopeampaa ja tarkempaa kuin manuaalisesti suoritettujen mittausten kautta ja tarkat tulokset ovat aina etu. Mittalaitteiston käyttökokemukset voivat tulevaisuudessa näyttää sen onko saatu hyöty taloudellinen. Käyttökokemusten avulla voidaan tehdä päätös samankaltaisen laitteiston asentamisesta sulattolinja-2:lle. Tässä vaiheessa pystytään kertomaan enemmän laitteen käytöstä ja siitä seuraavista eduista. Mahdollisesti jopa eritavalla toimiva järjestelmä voi tulla kyseeseen.

8 LÄHTEET

Jokela, Kari & Ylianttila, Lasse & Visuri, Reijo & Hietanen, Maila. Laserturvallisuus. Hakupäivä 24.3.2013.

www.stuk.fi/julkaisut_maat/maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja7/files.

Karjalainen, Eveliina, Käyttöinsinööri. Outokumpu Stainless Oyj. Haastattelu 22.3.2011.

LAP GmbH, Antaris Scan. Laser sensor for profile and distance measurement. Installation and Operating manual. 12/2007.

Petäjäjärvi, Marko, Tutkija. Tornio Works TRC. Haastattelu 22.3.2011.

Puska, Aki, Kehitysinsinööri. Outokumpu Stainless Oyj. Haastattelu 22.3.2011.

Valtioneuvoston asetus laserlaitteista ja niiden tarkastuksista 291/2008 3 §.

.